

УДК 553.631:69.035.4:546

С.Н. Жариков, А.М. Метревели, М.К. Теплов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ОПАСНОСТИ
НЕРАСТВОРИМЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ
(ПХ) В КАМЕННОЙ СОЛИ**

Семинар № 14

Одним из способов строительства подземных резервуаров является растворение каменной соли пресной водой через буровые скважины. Получаемый при растворении соли рассол является ценным минеральным сырьем для получения каустической и кальцинированной соды, бумаги, синтетического каучука, пищевой соли и других продуктов. При невозможности утилизации рассол закачивают в недра. Перед использованием или закачкой рассол очищают от примесей и нерастворимых веществ. Для очистки рассола от нерастворимой взвеси используют методы отстаивания, фильтрования и коагуляции. В результате возникает проблема утилизации нерастворимых включений, образующихся в процессе обработки получаемого при строительстве резервуаров рассола. Образующийся нерастворимый остаток необходимо утилизировать в целях охраны окружающей среды.

Для того, чтобы решить вопрос утилизации, необходимо присвоить класс опасности данному отходу. Ранее класс опасности нерастворимого остатка, образующегося в результате размыва подземного соляного массива, не был установлен. Установление класса опасности, регистрация и присвоение определенного кода промышленным отходам имеют существенное значение, так как это связано с экологическими платежами. Класс токсичности таких отходов определяется в каждом кон-

кретном случае расчетным путем в соответствии с нормативным документом «Критерии отнесения отходов к классам опасности для окружающей природной среды» (Приказ МПР РФ №511 от 15.06.2001) [1].

Отнесение отхода к классу опасности расчетным методом осуществлялось на основании показателя его экологической опасности, рассчитанного по соотношению концентраций компонентов отхода с коэффициентами их экологической опасности. Состав нерастворимого остатка был установлен лабораторными методами анализа керна.

В состав нерастворимого остатка могут входить: кальцит (CaCO_3), доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), кизерит ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), ангидрит (CaSO_4) полигидрат ($2\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), силикаты (кварц SiO_2), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Для расчета содержания солей в нерастворимом остатке в мг/кг необходимо произвести обработку данных, полученных на основании лабораторных методов анализа, пересчетом содержания компонентов в керне на содержание солей в нерастворимом остатке. Для этого необходимо из общего процентного содержания солей в керне вычесть процентное содержание солей, перешедших в воду, а полученный результат отнести к общему количеству нерастворимого остатка в керне. Этот расчет проводится для каждой про-

Таблица 1
Сводная таблица содержания компонентов в нерастворимом остатке кернов соленосной толщи

Компоненты нерастворимого остатка	Молекулярная масса, г/моль	Содержание компонентов в нерастворимом остатке, мг/кг			
		Тула	Волгоград 1-РЭ	Волгоград 2Р	Калининград
Доломит	184,41	105190,3	-	-	9,51·10 ⁶
Кизерит	138,38	9189,6	313344,8	65166,96	-
Ангидрит	136,14	750217,94	189341,8	596977,93	1·10 ⁶
Кальцит	100,08	91152,4	-	-	12000
Полигалит	602,95	-	467718,3	312229,2	-
Кварц	60,09	-	-	-	33000
Гипс	172,14	-	-	-	22000

Таблица 2
Пересчет содержания компонентов нерастворимого остатка на ионы Mg²⁺, SO₄²⁻, Ca²⁺

Ионы	Молекулярная масса, г/моль	Содержание ионов в нерастворимом остатке, мг/кг			
		Тула	Волгоград 1-РЭ	Волгоград 2Р	Калининград
Mg ²⁺	24,3	15474,82	73874,33	24026,95	125314,79
SO ₄ ²⁻	96,1	535953,94	649446,97	665713,63	695796,15
Ca ²⁺	40,1	280373,04	117983,05	217370,14	270653,90
Sr ²⁺	87,62	-	-	-	395
B ⁵⁺	10,81	-	-	-	2,7

бы, затем для получения усредненной пробы результаты суммируются, полученное число делится на общее количество проб.

Данные по содержанию компонентов нерастворимого остатка кернов соленосной толщи по различным ПХ (Калининградскому, Тульскому, Волгоградскому) приведены в табл. 1.

Так как нормативные данные, необходимые для расчета класса опасности нерастворимого остатка, для данных компонентов отсутствуют, необходимо произвести пересчет содержания компонентов нерастворимого остатка на ионы Mg²⁺, SO₄²⁻, Ca²⁺, Sr²⁺, B⁵⁺.

Следует заметить, что нормативные показатели для некоторых ионов также отсутствуют. Отсутствие этих данных не будет влиять на дальнейший расчет, так как содержание их в нерастворимом остатке незначительно. Результаты пересчета содержания компонентов нераствори-

мого остатка на ионы представлены в табл. 2.

Показатели опасности компонентов приведены в табл. 3.

Для определения коэффициента экологической опасности по каждому компоненту отхода устанавливается уровень его экологической опасности для различных природных сред в соответствии с табл. 2 нормативного документа [1]. Далее для учета недостатка информации по первичным показателям опасности компонентов отхода рассчитывается показатель информационного обеспечения путем деления числа включенных в расчет показателей (n) на количество наиболее значимых первичных показателей экологической опасности компонентов отхода. По установленным уровням экологической опасности компонентов отхода в различных природных средах рассчитывается относительный параметр экологической опасности

Таблица 3

Первичные показатели опасности компонентов отходов

Первичные показатели опасности компонентов отходов	SO ₄ ²⁻	Cl	Mg ²⁺	Sr ²⁺	B ⁵⁺	Ca ²⁺
ПДК _n (ОДК), мг/кг	-	-	-	-	-	-
Класс опасности в почве	-	-	-	-	-	-
ПДК _в (ОДУ, ОБУВ), мг/л	500*	-	-	7*	0,5***	-
Класс опасности в воде хоз.-питьевого использования	4	-	-	2	2	-
ПДК _{р.х.} (ОБУВ) мг/л	100*	300*	50*	10*	10*	180*
Класс опасности в воде рыбо-хоз. использования	-	-	-	-	-	4
ПДК _{с.с.} (ПДК _{м.р.} , ОБУВ), мг/м ³	-	-	-	-	-	-
Класс опасности в атмосферном воздухе	-	-	-	-	-	-

* - "Контроль химических и биологических параметров окружающей среды",
 ** - "Экология и безопасность" том 2, часть 2
 *** - "Санитарные правила и нормы СанПиН №4630-88"

компонента отхода (X_i) делением суммы баллов по всем параметрам на число этих параметров. Коэффициент W_i , применяемый для дальнейшего определения показателя опасности K_i , рассчитывается по одной из следующих формул:

$$LgW_i = \begin{cases} 4 - 4/Z_i, & \text{для } 1 < Z_i < 2 \\ Z_i, & \text{для } 2 < Z_i < 4, \\ 2 + 4/(6 - Z_i), & \text{для } 4 < Z_i < 5 \end{cases}$$

где $Z_i = 4X_i/3 - 1/3$.

Коэффициенты (W_i) для наиболее распространенных компонентов отходов приведены в Приложении 2 нормативного документа.

Показатель опасности компонента отхода K_i рассчитывается по формуле:

$$K_i = C_i / W_i,$$

где C_i – концентрация i -го компонента в

отходе (мг/кг отхода); W_i – коэффициент экологической опасности отхода i -го компонента отхода.

Показатель экологической опасности отхода (K) представляет собой сумму показателей опасности отдельных компонентов и рассчитывается по следующей формуле:

$$K = K_1 + K_2 + \dots + K_n,$$

где K – показатель экологической опасности отхода; K_1, K_2, \dots, K_n – показатели экологической опасности отдельных компонентов отхода;

$$K_1 = C_1 / W_1; K_2 = C_2 / W_2; \dots, \text{ где } C_i - \text{концентрация } i\text{-го компонента в отходе (мг/кг отхода); } W_i - \text{коэффициент, применяемый для расчета показателя экологической опасности } i\text{-го компонента отхода.}$$

Отнесение отхода к классу опасности расчетным методом по показателю экологической опасности отхода осуществляется в соответствии с табл. 3 нормативного документа [1]. Результаты расчета представлены в табл. 4, где $K_{иср}$ – усредненный показатель опасности ком-

Таблица 4

Сводная таблица параметров для расчета показателя экологической опасности нерастворимого остатка

Ионы	X _i	Z _i	W _i	K _{иср}
SO ₄ ²⁻	4	5	10 ⁶	0,657
Mg ²⁺	4	5	10 ⁶	0,0596
Ca ²⁺	4	5	10 ⁶	0,242
B ⁵⁺	3	3,67	4677,35	0,00058
Sr ²⁺ [1]	2,86	3,47	2951	0,1339

понента отхода по рассмотренным ПХ.

Показатель экологической опасности отхода:

$$K = 0,657 + 0,06 + 0,242 + 0,00058 + +0,1339 = 1,09$$

Поскольку рассчитанный показатель экологической опасности отхода имеет значение, меньшее 10, то в соответствии с нормативным документом [1] данный отход относится к V классу опасности.

Коротко об авторах

Жариков С.Н. – ведущий научный сотрудник,
Метревели А.М. – младший научный сотрудник,
Теплов М.К. – кандидат технических наук, зав. отделом,
ООО «Подземгазпром».



© Д.В. Каналин, 2005

УДК 553.631:69.035.4:546

Д.В. Каналин

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ В КАМЕННОЙ СОЛИ

Семинар № 14

На основе ранее проведенных экспериментальных исследований гидродинамических полей скоростей в подземных резервуарах (шаровые модели) [1, 2], для изучения механизма осадкообразования и движения нерастворимых включений в подземном резервуаре в процессе его создания, была разработана плоская тепловая модель (рис. 1). Движение гидродинамических потоков в модели вызвано разницей температур между подаваемой и находящейся внутри модельной

емкости воды, (имитирующей разницу плотностей между растворителем (пресная вода) и рассолом).

Увеличение масштабов плоской модели с сохранением линейного масштаба моделирования принятого в шаровых тепловых моделях позволило рассматривать гидродинамические процессы протекающие в модельной емкости, как гидродинамические процессы характерные для средней и конечной стадии создания натурального резервуара.

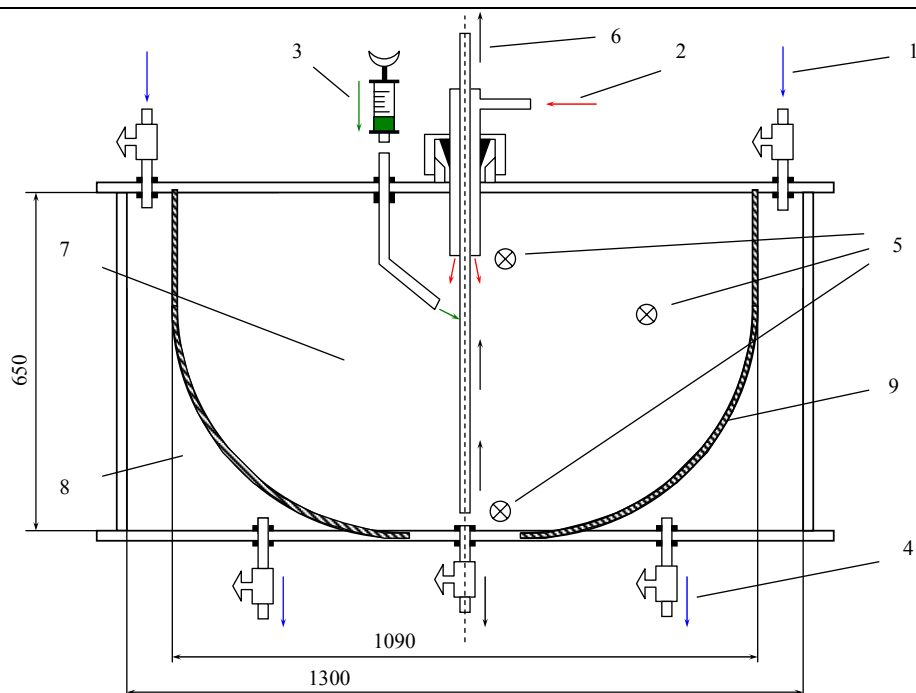


Рис. 1. Схема модельной установки для исследования осадкообразования и гидродинамики в подземной емкости

Модель представляла собой плексигласовый параллелепипед с изолирующей пластиной 9, которая разделяла модель на внутреннюю 7 и внешнюю 8 части. Пластина имитировала внутренний контур подземного резервуара. Для обеспечения максимального теплообмена между внутренним и внешним объемами модели, изолирующая пластина была изготовлена из листа меди. Для охлаждения изолирующей пластины, во внешнем объеме модели циркулировала холодная вода 1, 4.

В верхней части модели устанавливался оголовок, использовавшийся для герметичного крепления соосно расположенных водоподводящей и водоотводной колонн.

Для контроля температуры, внутри модели устанавливались термометры 5.

Ввод в модель воды 2 осуществлялся через два последовательно установленных термостата (нагревающих воду до темпе-

ратуры 90 °С), по межтрубному пространству водоподводящей и водоотводной колонн. Отвод воды из модели осуществлялся по центральной рассолоподъемной колонне 6.

В запланированные промежутки времени в модель через трубку 3 поэтапно вводился краситель или подкрашенные нерастворимые включения определенной гидравлической крупности. Затем фиксировались скорости восходящего потока и радиальные скорости движения потока вдоль поверхности нерастворителя.

На рис. 2 показано движение нерастворимых включений в модели. На рисунке видно, что нерастворимые включения с гидравлической крупностью большей, чем скорость восходящего потока растворителя и осаждались на дно модельной емкости. Нерастворимые включения с гидравлической крупностью меньшей и равной скорости восходящего потока растворителя, поднимались с восходящим потоком и двигались вдоль поверхности не-



Рис. 2. Ввод и движение нерастворимых включений в модельной емкости

растворителя. По мере замедления скорости радиального потока нерастворимые включения начинали выпадать на дно модельной емкости. Часть из них в последствии снова вовлекалась в восходящий поток растворителя.

Проведенные исследования на плоской модели показали, что скорость движения нерастворимых включений (с максимальной гидравлической крупностью) в восходящем потоке растворителя соответствовала скорости движения восходящего потока, полученной на шаровой модели. Данное утверждение справедливо и для скорости движения радиальных потоков.

На основе обобщенных результатов исследований на плоской и шаровых моделях получена расчетная формула для определения скорости движения рассола в зоне башмака рассолоподъемной колонны.

При противоточной схеме создания подземного резервуара скорость движения рассола в зоне рассолоподъемной колонны соответствует скорости движения рассола во всем резервуаре. При этом удаляться из подземного резервуара будут только частицы, гидравлическая крупность которых меньше скорости осаждения в подземном резервуаре.

Скорость движения рассола в зоне башмака рассолоподъемной колонны для противоточных схем подачи растворителя W (мм/с) определяется как отношение высоты ступени от кровли резервуара до

башмака рассолоподъемной колонны H (мм) к времени осаждения $\tau_{ос}$ (с)

$$W = H/\tau_{ос}$$

В свою очередь время осаждения $\tau_{ос}$ определяется как отношение объема подземного резервуара V_p (m^3) на начало или конец ступени к расходу поднимаемого рассола на данной ступени Q (m^3/c).

$$\tau_{ос} = V_p / Q, c$$

При прямоточной схеме создания подземного резервуара скорость движения рассола в зоне рассолоподъемной колонны будет определяться скоростью восходящего потока растворителя.

В зоне башмака рассолоподъемной колонны для прямоточных схем подачи растворителя нерастворимые частицы перемещаются восходящим потоком растворителя. Эта скорость может быть определена по эмпирической формуле

$$W = \frac{3900}{H^2} \cdot \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_s}{\rho_s}}, \text{ мм/с}$$

где ρ_p и ρ_s – плотность рассола в подземном резервуаре и плотность растворителя, подаваемого в скважину; t/m^3 ; H – расстояние между башмаками подвесных технологических колонн, м.

Выводы

1. Проведенные исследования гидродинамических потоков в подземном резервуаре на плоской тепловой модели подтвердили полученные данные на шаровых тепловых моделях подземных резервуаров.

2. Скорость движения рассола в зоне башмака рассолоподъемной колонны для противоточных схем подачи растворителя определяется как отношение высоты ступени от кровли резервуара до

башмака рассолоподъемной колонны к времени осаждения.

3. В зоне башмака рассолоподъемной колонны для прямоточных схем подачи растворителя нерастворимые частицы

перемешаются восходящим потоком растворителя. Для определения скорости была получена эмпирическая формула.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салохин В.И., Хрулев А.С., Каналин Д.В. Моделирование процесса конвективного смешения воды и рассола в камерах подземного растворения каменной соли. Горный информационно-аналитический бюллетень, №9. – М.: Изд-во МГГУ. 2001.

2. Салохин В.И., Хрулев А.С., Каналин Д.В. Влияние гидродинамических процессов в камере подземного растворения на осаждение и вынос нерастворимых включений. Горный информационно-аналитический бюллетень, № 12. – М.: Изд-во МГГУ. 2002.

Коротко об авторах

Каналин Д.В. – научный сотрудник, ООО «Подземгазпром».

НОВИНКИ

ИЗДАТЕЛЬСТВА МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Евдокимов А.В., Симанкин А.Г. Сборник упражнений и задач по маркшейдерскому делу: Учебное пособие для вузов. — 297 с.: ил.

ISBN 5-7418-0310-5 (в пер.)

Приведены примеры и задачи по основным видам маркшейдерских работ, выполняемых при разведке и добыче полезных ископаемых. Особое внимание уделено описанию задач по оценке точности результатов измерений, устройству основных маркшейдерских приборов и работе с ними, определению площадей, маркшейдерским работам на карьерах, шахтах, рудниках, в том числе и при строительстве, соединительным горизонтальным и вертикальным съемкам, маркшейдерским работам при проведении горных выработок, геометризации недр.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Маркшейдерское дело» направления подготовки дипломированных специалистов «Горное дело». Может быть полезен инженерно-техническим работникам горно-добывающих предприятий.

УДК 622.1(075)

© Е.П. Каратыгин, 2005

УДК 622.014.2:502.76:546:553.631.002.68

Е.П. Каратыгин

**ГОРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
РАЗМЕЩЕНИЯ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ**

Введение

В настоящее время складирование и захоронение промышленных и бытовых отходов практикуется несколькими способами, начиная от наземных полигонов складирования твердых и жидких отходов, могильников в отработанных горных выработках и кончая размещением жидких отходов в глубокозалегающих формациях.

Закачка токсичных отходов и промстоков в глубокие горизонты практикуется в ряде стран Европы (Англия, Германия, Франция, Польша) и Америки (США, Канада, Венесуэла и др.).

В странах СНГ жидкие отходы атомной, химической, нефте- и газоперерабатывающей промышленности начали захоронивать более 30-35 лет тому назад. К 1999 году на подземных полигонах в водоносных горизонтах было захоронено более 300 млн. м³ токсичных, радиоактивных отходов и промышленных стоков.

Одновременно для размещения промышленных отходов различного назначения, хранения газа и нефтепродуктов в мировой практике широко используются подземные глубокозалегающие соляные выработки, созданные методом подземного растворения через буровые скважины. Такие подземные хранилища созданы почти на всех соляных месторождениях Европы и Америки, странах СНГ.

Основные положения

Горно-геологический мониторинг функционально должен состоять из следующих трех подсистем:

1. Получение информации о современном состоянии природной среды и ее изменениях.

2. Наблюдение и контроль изменения окружающей природной среды и размещаемых отходов.

3. Оценка и прогноз изменений окружающей природной среды.

Первая подсистема включает весь комплекс исследований, направленных на изучение основных характеристик окружающей природной среды, используемых, в данном случае, для проектирования установки по размещению отходов в подземной соляной камере. Она объединяет физико-химические, токсикологические, геолого-гидрогеологические, почвенные и другие исследования в районе влияния установки. Основная цель выполнения этой подсистемы: обеспечение всей необходимой информацией перед началом работ установки.

Реализация первой подсистемы осуществляется путем сбора материалов предыдущих работ и проведения комплексных целевых геолого-экологических и физико-химических исследований природной среды и отходов в пределах изучаемой территории. Границы территории, как правило, определялись целями исследования.

Реализация второй подсистемы сводится к созданию сети комплексных специализированных наблюдений за состоянием и изменением не только основных компонентов окружающей среды (атмосферного воздуха, поверхностных вод, почв, грунтов и подземных вод), происходящих под влиянием деятельности установки, но и физико-химических изменений состава отходов и получаемых рассолов.

Третья подсистема должна, по сути, представлять собой автоматизированную и информационную систему, в которую непрерывно поступает для хранения, обработки и составления прогнозов информация, получаемая в процессе проведения комплексных исследований и специализированных наблюдений за изменениями окружающей природной среды, а также

данные по составу отходов. Такая система должна быть создана на первом этапе работ.

Решение задач второй основной подсистемы осуществляется по следующим направлениям:

- мониторинг экотоксикантов;
- технологический мониторинг;
- мониторинг состояния недр, включающий несколько видов наблюдений: геологический контроль, гидрогеологический контроль, геофизический контроль;
- мониторинг технического состояния скважины.

Решение задач мониторинга рассматривается на примере эксплуатации опытной установки (ОУ) размещения отходов эпихлоргидрина предприятия ООО «Усольехимпром» в Иркутской области.

Отходы производства эпихлоргидрина (ЭПХГ) представляют собой сложную органическую многокомпонентную смесь изомеров моно-, ди- и трихлорпроизводных углеводородов, относящуюся к 3 классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».

Обоснованность размещения отходов ЭПХГ была рассмотрена в работе «Оценка надежности размещения токсичных отходов в подземных камерах Усольского месторождения каменной соли» (Горный информационно-аналитический бюллетень, М., Изд-во МГГУ, 2004 г.).

Мониторинг экотоксикантов

Установка расположена на окраинной части горного отвода рассолопромысла ООО «Усольехимпром», имеющего общую границу горного отвода с комбинатом «Сибсоль» (рис. 1).

Площадка ОУ расположена на территории свободной от застройки, на всхолмленном рельефе, с выраженным падением поверхности земли с юго-запада на северо-восток.

Удаление площадки ОУ от р. Ангара составляет 3 км. Вокруг объекта проектом предусмотрено создание санитарно-защитной зоны радиусом 300 м, в пределах которой сельскохозяйственная деятельность запрещена. Вокруг горного отвода рассолопромысла расположен ряд промышленных предприятий (промплощадка ООО «Усольехимпром», полигоны промышленных и бытовых отходов, шламонакопители, сользавод и т.д.), что обу-

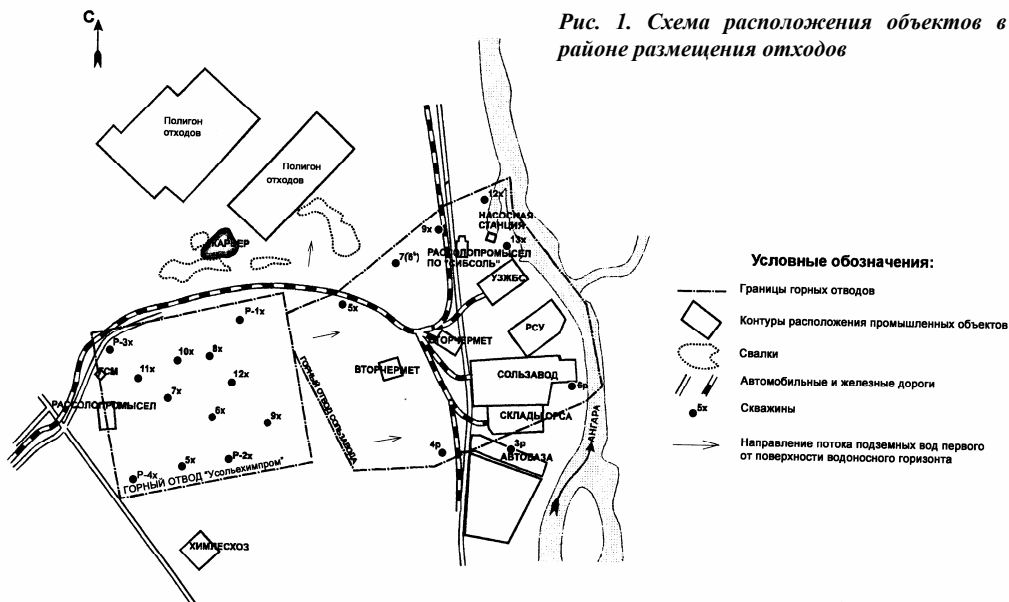


Рис. 1. Схема расположения объектов в районе размещения отходов

слагивает необходимость проведения регулярных токсикологических исследований для оценки и прогнозирования экологической обстановки с целью минимизации риска для окружающей среды и здоровья населения.

Такой комплекс исследований был проведен в 2004 году до начала работы ОУ под руководством сотрудника Института Токсикологии Минздрава РФ Колбасова С.Е. и, в дальнейшем, будет повторяться ежегодно в летне-осенний период.

Объектами мониторинга были подземные, грунтовые и поверхностные воды, почвы, грунты, растения и биота (например, картофель с индивидуальных полей, трава, молоко частного хозяйства и т.д.).

Точки взятия проб намечались совместно с представителями ООО «Усо-льехимпром» с таким расчетом, чтобы охватить зону влияния объектов ОУ.

Результаты исследований определили санитарно-токсикологический фон перед началом закачек отходов в подземную соляную камеру, которые были начаты в октябре 2004 года.

Технологический мониторинг

Технологический мониторинг включает в себя систему наблюдений, замеров и анализа закачки отходов ЭПХГ, начиная от точки их смешения при получении регламентируемых показателей в узле подготовки до скважины № Р-2х, включая площадку скважины № Р-2х и окружающие контролируемые точки.

Основным объектом наблюдений является скважина № Р-2х, пробуренная в 1952 году на глубину 1400 м и вскрывшая 11 пластов каменной соли различной мощности. Эксплуатация скважины происходила в период 09.59-03.88 гг. Скважина отработала два нижних пласта каменной соли и

была законсервирована при объеме камеры 1096 тыс. м³.

На момент начала опытных работ конструкция скважины была следующая (см. рис. 2):

- кондуктор Ø 426 мм установлен на глубине 45,3 м;
- основная техническая колонна Ø 273 мм спущена до глубины 1221 м с подъемом цементного раствора на высоту 190 м;
- свободно висящие технологические колонны установлены на глубине:
 - водоподающая (бывшая) колонна Ø 219 мм – 1230 м;
 - рассолоподъемная колонна Ø 146 мм – 1240 м;
 - продуктоприемная колонна НКТ Ø 73 мм – 1265 м;
- объем верхней камеры – 550 тыс. м³.

Таким образом, исходя из конкретных горно-геологических условий камеры скважины № Р-2х и технических возможностей контролирующей аппаратуры, методика проведения контроля процесса закачки, заполнения выработки и состояния окружающей среды включает:

- контроль количества подаваемых отходов, химического состава и плотности (ежесменно);
- контроль количества вытесняемого рассола, его химического состава, плотности, в том числе степень загрязнения хлорорганикой;
- периодический отбор проб рассола из буферной зоны (межтрубье колонн Ø 219-146 мм) для определения химического состава на наличие хлорорганики (контроль герметичности колонн скважин);

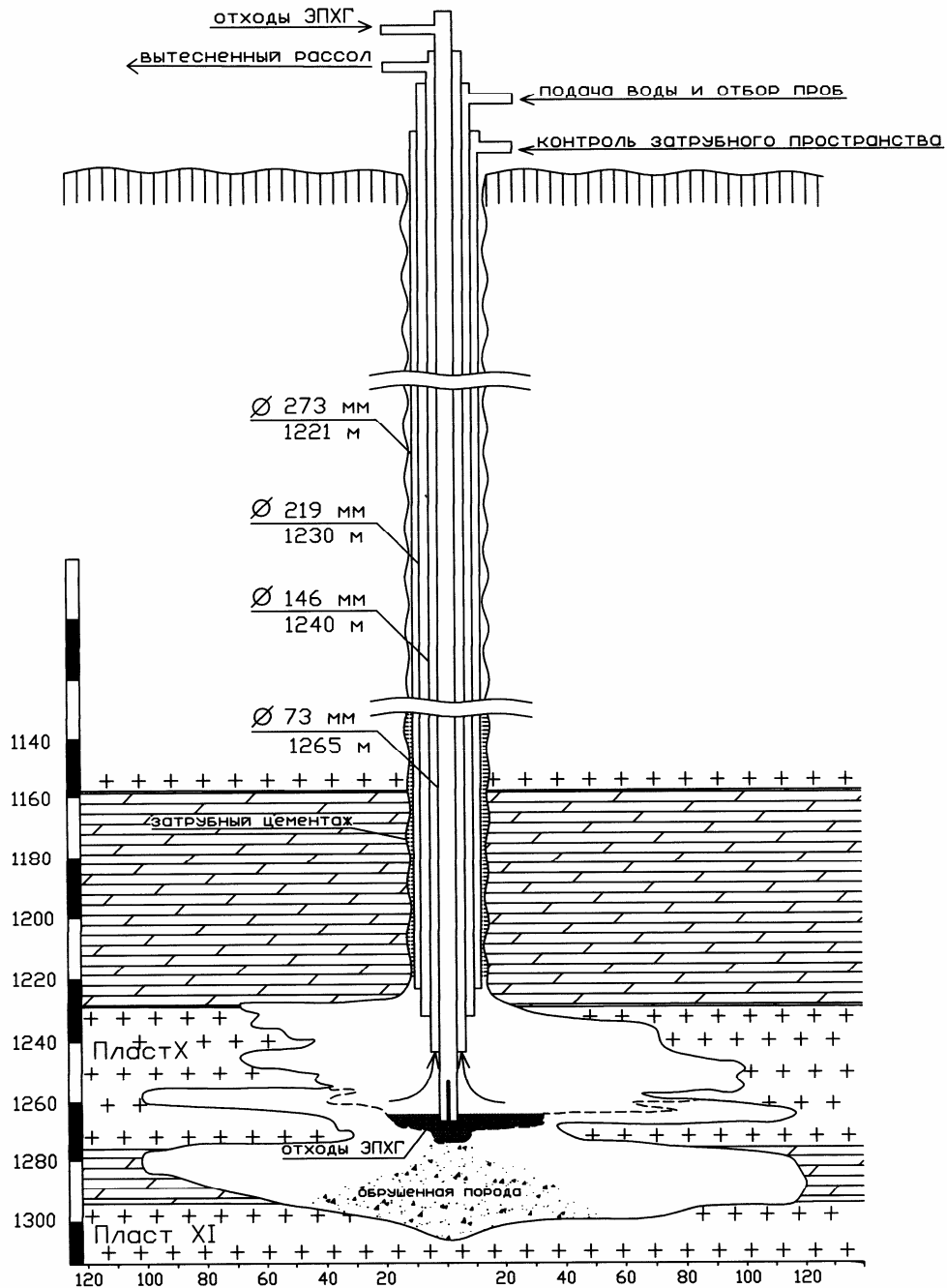


Рис. 2. Конструкция скважины для размещения отходов

- периодический отбор глубинных проб жидкостей в стволе скважины на высоте 50-60 м, считая от дна камеры. Отбор проб жидкостей на наличие хлорорганики целесообразно производить до начала и после окончания закачки отходов, а также

один раз в середине планируемого периода закачки;

- отбор глубинных проб рассола в окружающих рассолодобычных скважинах №№ 6х и 9х после окончания закачки отходов на наличие хлорорганики. Для отбора глубинных проб жидкостей рекомендуется использовать, например, глубинный всасывающий поршневой пробоотборник ВПП-300 Ø 38 мм.

На площадке опытной установки производятся замеры расходов и давлений закачиваемых и вытесняемых жидкостей. Замеры производятся на трубопроводной обвязке скважины № Р-2х непрерывно самопишущими приборами и контролируются оператором по показывающим приборам, установленным на оголовке скважины. Предусмотрена возможность отбора контрольных проб жидкостей из любой колонны с помощью специально установленных на оголовке штуцеров с кранами.

4. Мониторинг геологической среды

На площади Усольского месторождения каменной соли построены и эксплуатируются два рассолопромысла на ООО «Усольехимпром» и комбинате «Сибсоль», имеющие общую границу горного отвода, и площадка комбината «Прибайкалье», расположенная на расстоянии более 1,5 км от горных отводов рассолопромыслов. Подземные хранилища созданы на глубине 1000-1100 м (V и VI пласты), отработка месторождения рассолодобычными скважинами была начата с глубины 1370-1380 м (XI пласт). Камера размещения отходов в скважине № Р-2х расположена в интервале глубин 1226-1272 м (X пласт).

Соленосная толща Усольского месторождения представлена переслаивающимися пластами каменной соли, доломитами, ангидритами и мергелистыми сланцами. Контакты несолевых пород с пластами каменной соли крепкие, нетрещиноватые, что подтверждается развитием подземных выработок пролетом до 200-260 м. Водоносные горизонты в разрезе промышленной соленосной толщи не выявлены.

Горные отводы рассолопромыслов размещены в центральной части слабо нарушенного блока, вдалеке от дизъюнктивных нарушений и потому надежно изолированы мощной соленосной толщей не только от дневной поверхности и надсолевой части разреза, но и друг от друга. Для контроля герметичности соляного массива предусматривается контрольный отбор проб воды на наличие хлорорганики после окончания ежегодной закачки отходов в наблюдательной сети и во всех работающих рассольных скважинах.

Кроме действующей сети ООО «Усольехимпром» предусматривается использование данных мониторинга подземных вод сторонних организаций («Сибсоль», «Прибайкалье»).

Мониторинг подземных вод

Контрольно-наблюдательные скважины

Для контроля состояния окружающей среды в зоне потенциального влияния ООО «Усольехимпром» в свое время была создана мониторинговая сеть скважин, ориентированных на водоносные комплексы четвертичных и юрских отложений.

Наблюдения за состоянием подземных вод, включающие замеры уровня и температуры воды, глубины скважины, производятся ежеквартально по контрольно-наблюдательным скважинам. Отбирались отдельные пробы воды из скважин на сокращенный химический анализ и на определение содержания нефтепродуктов и тяжелых металлов. Все эти данные были использованы при разработке проекта строительства ОУ. В период эксплуатации опытной установки ООО «Усольехимпром» будет продолжаться мониторинг качества подземных вод по действующей сети наблюдательных скважин по разработанной методике.

В связи с тем, что скважины имеющейся сети достаточно широко размещены и могут очень поздно реагировать на гидравлические и гидрохимические возмущения, в районе скважины № Р-2х проектом работ предусматривается, кроме действующей наблюдательной сети, организация в пределах рассолопромысла сети специальных мони-

торинговых скважин (№№ 1-х, 2-х, 20-у, 29-с и 1-КН), наблюдения по которым должны обеспечить оперативный и достоверный контроль надежности размещения отходов в отработанной камере скважины № Р-2х. Первые четыре скважины расположены выше по потолку подземных вод по отношению к скважине № Р-2х и обеспечивают контроль фоновой гидрохимической обстановки в зоне возможного влияния опытной установки.

Скважина № 1-КН расположена в непосредственной близости от скважины Р-2х ниже 60 м по потолку грунтовых вод и предназначена для контроля герметичности затрубного пространства и надежности изоляции соляной камеры от первого водоносного горизонта, а также выявления любого типа загрязнений, поступающих от скважины № Р-2х в процессе работ. Основная цель мониторинга подземных вод в максимально короткие сроки уловить возможную негерметичность ствола скважины № Р-2х и предотвратить загрязнение зоны свободного водообмена отходами ЭПХГ в аварийных ситуациях. Мониторинг включает одновременные замеры уровня воды в скважинах и отбор проб воды на химанализы.

В первый месяц работы установки замеры уровня и отбор проб воды производятся 1 раз в неделю, в последующее время 1 раз в месяц. Пробы воды сдаются на количественный анализ ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , pH и 1,2,3-трихлорпропан.

При увеличении в пробе концентрации 1,2,3-трихлорпропана более чем на 20 % по сравнению с предыдущей пробой, производится повторный отбор и анализ пробы из той же скважины, по результатам которой корректируется методика дальнейших работ.

Контроль герметичности системы «камера-скважина № Р-2х»

Для контроля герметичности колонн скважины предусматривается регулярный отбор проб рассола на анализ хлорорганики из межтрубного пространства колонн \varnothing 219-146 и \varnothing 146-73 мм. Пробы отбираются на оголовке скважины.

Достоверность герметичности всех колонн скважины подтверждается результатами мониторинга грунтовых вод по скважине № 1-КН.

Геофизический контроль

Подземная глубокозалегающая горная выработка, созданная методом подземного растворения и имеющая связь с земной поверхностью в виде вертикального ствола \varnothing 200-300 мм, является наиболее труднодоступным объектом для проведения наблюдений и измерений. Как правило, периодическое использование серийной геофизической аппаратуры не давало результатов, а специальная аппаратура контроля создавалась в виде рабочих макетов единичного изготовления.

Закачка и хранение хлорорганических отходов с высокой степенью токсичности в камеру подземного растворения еще более осложняет задачу контроля и наблюдения.

Анализ мировой практики захоронения радиоактивных и химических отходов, складирования шламов содово-каустических производств в соляных камерах по литературным источникам показывает отсутствие специально разработанной для этой цели контрольно-измерительной аппаратуры и сложность ее изготовления. Известно, что в 1997 году в Кракове на семинаре SMRJ (международный институт подземного выщелачивания) фирма SOCON BCS (Германия) предлагала к продаже, так называемый, емкостной метод контроля границ раздела сред нефтепродукт-рассол и оборудование для этой цели (прокладка кабеля по колонне, защита его, датчики и т.д.). Подобный емкостной метод сопротивлений был внедрен на скважине № 30 Яр-Бишкадакского рассолопромысла ОАО «Сода» около 40 лет тому назад, а затем в 1982-84 гг. был использован для контроля уровня нерастворителя на скважине № 6х ООО «Усолехимпром». В дальнейшем такой метод применялся при проведении опытных работ по захоронению хлорорганических отходов на скважине № 1 ОАО «Саянскимпром».

Для контроля стабильности состояния камеры размещения отходов 1 раз в год пре-

дусматривается ее локационная съемка перед началом закачки отходов.

Маркшейдерский контроль

Одним из основных методов оценки герметичности соляной толщи в процессе разработки месторождения методом подземного растворения являются маркшейдерские наблюдения за просадками земной поверхности. Наблюдения за деформацией дневной поверхности земли у устьев эксплуатационных скважин, а также зданий и сооружений на промплощадке допускается выполнять согласно СНиП 1.02.07-87 методом геометрического нивелирования. Класс нивелирования – II. Для зданий и сооружений кроме осадок определяются и горизонтальные смещения фундаментов по программе измерений полигонометрии I разряда.

Исследования деформаций выполняется периодически. Продолжительность периода между последовательными исследованиями деформаций устанавливаются в зависимости от величины деформаций и интенсивности их затухания, но не менее одного раза в год. Наибольшим деформациям поверхностные объекты подвергаются в период с мая по октябрь. Размещение геодезических пунктов для наблюдения за деформациями – одна из основных задач всей работы по измерениям смещений отдельных точек поверхности земли и сооружений. От правильности размещения и числа знаков во многом зависит качество, полнота и однозначность выявления смещений. Пункты размещены в местах, где возможен в течение всего срока беспрепятственный и удобный подход к ним с рейкой и обеспечена их сохранность. Наибольшая глубина промерзания грунта на участке

работ – 2,5 м в соответствии с этим глубина закладки рабочих грунтовых реперов – более 3,0 м.

Основным принципом построения наблюдательных полигонометрических и нивелировочных сетей на площадке подземного размещения отходов является обеспечение заданных допусков определения смещений реперов. Все опорные реперы строятся на площадке по специальному проекту маркшейдерской станции, выполненному с учетом инженерно-геологических, гидрологических условий площадки.

Для наблюдения за деформацией зданий и сооружений устанавливаются настенные реперы. Настенные реперы должны располагаться на высоте 0,3-1,2 м от поверхности земли так, чтобы выступы стен не мешали установке реек. Координирование ственных реперов рекомендуется выполнять по программе измерений полигонометрии I разряда в соответствии со СНиП 1.02.07-87.

Заключение

Рассмотренные проблемы горно-экологического мониторинга размещения отходов в соляной подземной камере по своему комплексному охвату существенно отличаются от мониторинга, например, гидрогеологической среды или геодинамического мониторинга, решающих более узкие направленные задачи.

Такой подход предопределен спецификой создания подземных камер-хранилищ геотехнологическим методом и расположением их часто вблизи объектов, связанных с добычей полезных ископаемых (типичный пример: рассолопромысел и подземная камера размещения токсичных отходов).

Коротко об авторах

Каратыгин Е.П. – кандидат технических наук, заместитель генерального директора ООО «СТРЕСС», г. Санкт-Петербург.

© **А.И. Левченко, Б.П. Глухов, Ю.А. Богданов, 2005**

УДК 546:622

А.И. Левченко, Б.П. Глухов, Ю.А. Богданов

Бишофит – шестиводный кристаллогидрат хлористого магния ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$). Скорость его растворения в воде в несколько раз выше, чем у каменной соли. Бишофит гигроскопичен настолько, что «расплывается» даже при небольшой влажности воздуха.

Бишофитовое сырье используется для производства чистой окиси магния, хлора, соляной кислоты и других продуктов, применяется как средство борьбы с гололедом, а также в качестве бальнеологического средства.

На территории России открыто уникальное по запасам и качеству сырья Волгоградское месторождение бишофита (Городищенская, Наримановская, Светлоярская и др. площади). Бишофитовая порода залегает либо пластами мощностью 10-60 м, либо ограниченными по площади линзами. Бишофитовые пласты приурочены к соленосным образованиям кунгурского яруса нижней перми. Глубина залегания кровли пластов на разных площадях изменяется от 900 до 1900 м. Подстилают и перекрывают бишофит пласты карналлита и каменной соли.

Из-за больших глубин залегания бишофитовых отложений, высокой скорости растворения и гигроскопичности добыча бишофита шахтными методами нецелесообразна. Поэтому перспективным является добыча его путем подземного растворения через скважины с поверхности.

С 1986 по 2000 г. на территории Волгоградского месторождения (Светлоярская площадь) проводились опытно-промышленные работы с целью выяснения технической возможности подземного растворения бишофита и обоснования технологических схем его добычи.

Опыт эксплуатации месторождения показал существенную разницу физико-механических и физико-химических

свойств бишофита и каменной соли. Так, например, при растворении 1 м^3 бишофитовой породы образуется около $1,6 \text{ м}^3$ насыщенного рассола, из которых 1 м^3 остается в камере. Если при растворении каменной соли происходит уменьшение суммарного объема воды и соли (электрострикционный эффект), то при растворении бишофита, наоборот, увеличение. В отличие от каменной соли бишофит растворяется с выделением тепла. В настоящее время имеется весьма незначительный материал, посвященный кинетике растворения природного бишофита в условиях свободноконвективного режима растворения применительно к условиям подземной камеры выщелачивания.

Известна работа по исследованию кинетики растворения бишофита в условиях вынужденной конвекции («витающие кристаллы») [1].

Исследования кинетики растворения бишофита в условиях свободной конвекции ранее проводились на образцах плавленого и прессованного бишофита при температурах 10-50 °С и углах наклона растворяющейся поверхности 90° и 180° в его собственных растворах, в растворах хлористого натрия и смешанных ($MgCl_2 + NaCl$) рассолах [2].

Известны также работы зарубежных исследователей по изучению скорости растворения карналлитовых и бишофитовых пород в условиях естественной конвекции для температуры 25 °С (Х. Хоффманн, Н. Эмонс, 1969 г.).

Обобщенный анализ ранее проводившихся исследований по кинетике растворения бишофита, а также ряд технологических проблем, связанных с добычей бишофита подземным растворением, приведен в работе [3]. Проведенный анализ свидетельствует о необходимости расширения фронта исследований по отработке

технологии добычи бишофита, особенно в связи с резким ростом потребности в хлормagneиевом сырье.

Для промышленного освоения Волгоградского месторождения бишофита путем подземного растворения через скважины с поверхности, возможности прогнозных расчетов технологических параметров размыва и оценки целесообразности применения данного способа добычи требовалось более глубокое изучение особенностей кинетики растворения бишофита. С этой целью в ООО «СТРЕСС» проводилось исследование скорости растворения образцов бишофита при различных температурных условиях в собственных растворах и растворах сложного состава в диапазонах физических условий, не охваченных предыдущими исследованиями.

Поскольку при эксплуатации месторождения бишофита в процесс растворения вовлекаются сопутствующие компоненты (KCl, NaCl), особенный интерес представляет также изменение скорости растворения бишофита в их растворах.

В качестве объекта исследования использовались бишофитовые образцы, изготовленные из kernового материала Волгоградского месторождения.

Средневзвешенный химический состав керна имел следующие значения, (вес. %): NaCl – 2,03; KCl - 0,0; KCl.MgCl₂.6H₂O – 7,25; MgCl₂.6H₂O – 84,86; CaCl₂ - 0,05; CaSO₄ – 0,71; MgSO₄ – 0,05; нерастворимые включения – 4,9.

Образцы для проведения исследований изготавливались из kernового материала с наиболее богатым содержанием бишофита (не менее 97 %).

Подготовка образцов непосредственно из керна представляет определенные трудности из-за того, что образцы легко рассыпаются, имея зернистую структуру. Поэтому подготовка образцов осуществляется путем дробления керна. После дробления керна бралась навеска солевого материала и проводилось прессование образцов.

Ранее было показано [4], что монокристаллы и прессованные образцы диффузионно-растворяющихся солей имеют одинаковую скорость растворения. Поэтому использование прессованных образцов для определения скорости растворения бишофита вполне оправдано и удобно, так как бишофитовая масса хорошо прессуется и получается образец нужной формы и размера.

В работе [2] была получена зависимость плотности образцов от давления при прессовании. По этой зависимости видно, что уже при давлении 1,5 т/см² устанавливается постоянный объемный вес бишофитового прессата, при этом по величине он близок к плотности чистого бишофита, равной 1,56 г/см³. На основании этого для прессования образцов был выбран пятидесятитонный пресс МП4-У, который обеспечил для имеющейся прессформы с площадью пуансона 30 см² рабочее давление 1,5 т/см². При этом давлении и были спрессованы все образцы kernового материала.

С целью предотвращения «расплавания» готовых образцов от влаги воздуха, спрессованные образцы бишофита просушивались в сушильном шкафу при температуре 80 °С и помещались в эксикатор с хлористым кальцием. Затем измерялись линейные параметры образца. Средняя высота образца составила 2,5 см при длине квадратной стороны образца 5,48 см. После замеров все стенки образца, кроме одной, предназначенной для растворения, покрывались эпоксидной смолой. Площадь поверхности растворения такого образца составляет около 30 см².

Экспериментальное растворение образцов производится в сосуде достаточно большого объема (около 1 л), исключающего за время проведения растворения образца существенное изменение состава растворителя и температуры. Важным фактором при проведении эксперимента является температура растворителя, имитирующая температурный режим на глубине залегания бишофитовой породы.

Растворение образцов производилось в режиме свободной конвекции, так как именно этот режим обычно используется для рассмотрения процесса подземного растворения соляной залежи. При погружении образца в растворитель пограничный слой раствора без внешнего воздействия, под действием силы тяжести стекает струйками вниз. Таким образом протекает конвективный перенос вещества. При этом скорость растворения вертикальной стенки образца близка к средней скорости развития радиуса подземной камеры.

При проведении опытов образец закреплялся в двух положениях: 90° (растворение стенок камеры) и 180° (растворение потолочины) в держателе из нержавеющей стали.

Время растворения бишофитовых образцов, как в растворах $MgCl_2$, так и в растворах $NaCl$ и KCl , составляло 1-2 минуты, в зависимости от положения образца и температуры воды. Каждый образец испытывался при двух положениях и различной температуре растворителя с последующей шлифовкой поверхности растворения после каждого опыта.

Растворение образцов производилось в растворителе различного состава с концентрацией: $MgCl_2$ - до 350 г/л, $NaCl$ - до 250 г/л, KCl - до 200 г/л.

Скорость растворения бишофита – это количество бишофита [г], перешедшего в раствор с единицы поверхности [cm^2] в единицу времени [мин] или [час].

Поэтому для определения скорости растворения бишофита [W] предварительно взвешенный образец бишофита [P_1], с площадью растворения [S] опускается на фиксированное время [τ] в растворитель

определенной температуры и состава. После истечения заданного времени испытуемый образец извлекается из растворителя, погружается на некоторое время в спирт, высушивается в сушильном шкафу при температуре 80 °С и снова взвешивается [P_2].

Формула для расчета скорости растворения по результатам эксперимента имеет следующий вид:

$$W = \frac{P_1 - P_2}{S \tau} [\text{г}/\text{см}^2 \cdot \text{мин}] \times 600 = [\text{г}/\text{см}^2 \cdot \text{час}];$$

По материалам исследования построены графические зависимости скорости растворения бишофитовой породы в воде, в собственных растворах, в растворах хлористого натрия и растворах хлористого калия при температуре растворения 50 °С и 60 °С (имитация температурного режима на глубине залегания бишофитосодержащей толщи) (рис. 1, 2).

Анализ результатов эксперимента показал, что скорость растворения бишофита значительно выше, чем скорость растворения галита и существенно зависит от температуры растворения.

Ранее отмечалось, что скорость растворения бишофита при углах наклона 180° (потолок камеры) примерно в 2,5 раза больше, чем при углах наклона 90° (стенка камеры) (при температурах 0-40 °С). С увеличением температуры растворителя до 50-60 °С эта разница уменьшается до 1,5-2 раз. По мере насыщения растворителя по $MgCl_2$ разница становится еще меньше.

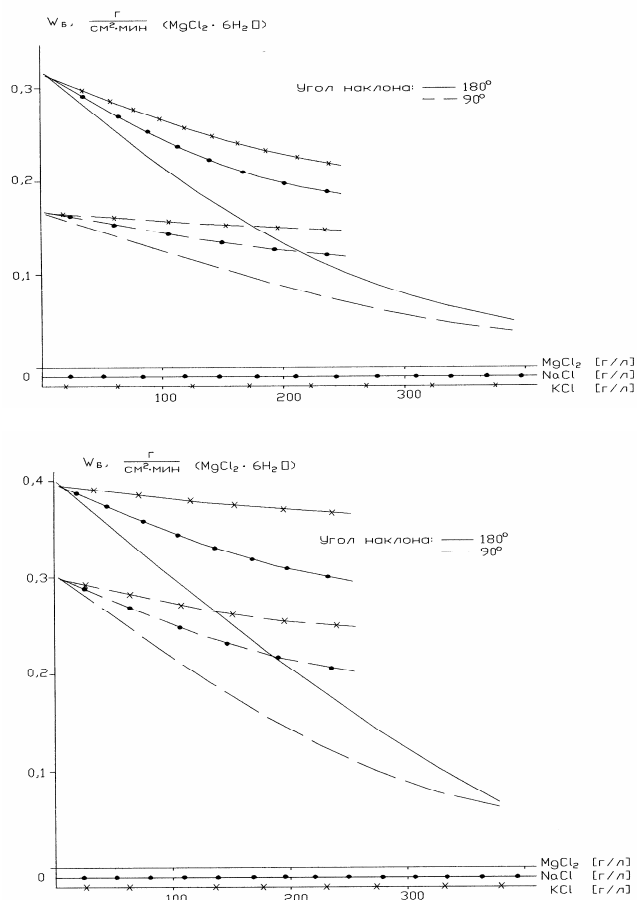


Рис. 1. Характер растворения бишофитовой породы в воде, собственных растворах, растворах NaCl, KCl при температуре +50 °С

Рис. 2. Рис. 1. Характер растворения бишофитовой породы в воде, собственных растворах, растворах NaCl, KCl при температуре +60 °С

Поэтому, с целью количественной оценки увеличения объема рассола при растворении, проводились также исследования по определению коэффициента объемного расширения бишофитового раствора с учетом электрострикционного эффекта хлористого магния.

Эксперимент проводился с использованием делотометра, представляющего собой емкость в форме параллелепипеда объемом три литра, в средней части которой расположена перемещающаяся каретка, предназначенная для переноса опытного образца из верхней части емкости, заполненной керосином, в нижнюю часть, где находится растворитель (вода). На верхней крышке емкости находится мерная трубка, по которой фиксируется изменение суммарного объема системы “керосин-бишофит-вода”. После помещения опытного образца бишофита в каретку, находящуюся перед началом эксперимента в керосине, и установке уровня в мерной трубке, каретку с образцом опускают в растворитель. Изменение уровня в мерной трубке показывает величину изменения объема раствора.

Навеска бишофитовой породы весом 75 г (объем при плотности бишофитовой породы = 1,630 г/см³ составил 46,01 см³) имела следующий состав, вес.%: MgCl₂ – 44,8; CaSO₄ – 0,16; NaCl – 1,7; KCl – 0,19; Н.О. – 2,07 (суммарный объем

Результаты графической обработки полученных данных о скоростях растворения бишофитовой породы в растворах хлористого натрия и хлористого калия показывают, что падение скорости растворения бишофита в растворах хлористого натрия больше, чем в растворах хлористого калия.

Как отмечалось выше, растворение бишофитовой породы происходит с увеличением объема получаемого рассола. Количество добываемого из скважины хлормagneйного рассола – основной технико-экономический показатель, необходимый для оценки целесообразности применения геотехнологического способа добычи бишофита еще на стадии проектирования скважины.

составляющих компонентов + H₂O составил 54,208 см³).

Плотность растворителя (воды) при 20 °С – 0,9982 г/см³.

Суммарный эффект электрострикции по каждому из компонентов – 7,404 см³.

Результирующий эффект увеличения объема при растворении бишофитовой породы составил:

$$54,208 - 46,01 - 7,404 = 0,794 \text{ см}^3;$$

Растворение бишофитовой породы происходит с выделением тепла, так как теплота растворения 1 моля бишофита при 20 °С и разбавлении в 1,5 литрах воды составляет 2,95 ккал [5]. При растворении 75 г бишофитовой породы (72 г 100 % бишофита) в раствор выделилось 1040 ккалорий тепла, что увеличило температуру системы на 0,5 °С. Это обстоятельство увеличило объем керосина (температурный коэффициент объемного расширения 10⁻³ · 0,955 град⁻¹ [6]) в делотометре на 0,716 см³.

Изменение температуры окружающей среды на +0,13 °С, зафиксированное в период проведения эксперимента, дополнительно увеличило объем керосина на 0,19 см³.

Окончательно значение увеличения объема раствора в результате растворения образца составило:

$$1,8 - 0,716 - 0,19 = 0,894 \text{ см}^3$$

Коэффициент объемного расширения бишофита (100 %) при переходе его в раствор составляет, см³/г:

$$0,894 \text{ см}^3 : 72 \text{ г} = 0,012 \text{ см}^3/\text{г}$$

Таким образом, при растворении 1 м³ 100 % бишофита с плотностью 1600 кг/м³ объем получаемого раствора увеличивается:

$$0,012 \text{ см}^3/\text{г} \cdot 1600000 \text{ г} : 10^6 = \\ = 0,0199 \text{ м}^3 = 19,9 \text{ л.}$$

Работа по исследованию кинетики растворения бишофита позволила получить значения скоростей растворения с различным содержанием его в породе. Эти результаты дают представление об интенсивности растворения продуктивной бишофитовой толщи и позволяют производить прогнозные расчеты добычи бишофитовых растворов подземным растворением через скважины с поверхности.

Систематизированные данные исследования кинетики растворения бишофита, заложенные в математическую модель, позволяют разрабатывать регламенты эксплуатации скважин, осваивающих бишофитовые залежи методом подземного растворения и прогнозировать развитие подземной камеры, а также производить технико-экономическую оценку применения способа подземного растворения при разработке месторождений бишофита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Здановский А.Б.* Кинетика растворения солей в условиях вынужденной конвекции. Л., 1956 г.
2. *Резников В.А., Глухов Б.П., Бельды М.П.* Разработка предварительной технологической схемы добычи хлормagneиных рассолов методом подземного растворения. Л., 1973 г.
3. *Каратыгин Е.П., Валькхофф Ф., Ермаков В.А.* Проблемы разработки месторождений бишофита подземным растворением, МГТУ, Горный информационно-аналитический бюллетень, 2004 г.
4. *Бельды М.П., Болотов И.И.* Кинетика растворения солей в условиях вынужденной конвекции. Отчет ВНИИГ, Л., 1966 г.
5. *Справочник по растворимости солевых систем, II-2, «ХИМИЯ», Л., 1975, с.1029.*
6. *Таблица физических величин, «АТОМИЗДАТ», М., 1976, с.137.*

Коротко об авторах

Левченко А.И. – ОАО ВНИИГ алургии, г.Санкт-Петербург,
Глухов Б.П. – кандидат технических наук, ООО "СТРЕСС", г.Санкт-Петербург,
Богданов Ю.А. – ООО "СТРЕСС", г.Санкт-Петербург.